



Implenia

Ingenieur-
bau

BRÜCKEN IN DEUTSCHEN KOMMUNEN

Werte schützen,
Schäden vermeiden

White Paper



Inhaltsübersicht

Vorwort 3

Infrastruktur braucht gute Pflege 4

Deutschlands Brücken: Die Fakten 6

Was Kommunen zu ihren Bauwerken sagen 8

Zum Zustand von Ingenieurbauwerken und Brücken 9

Ressourcen für die Bauwerkserhaltung 9

Umsetzung von Bauwerkserhaltung 12

Zeitgemäße Lösungen zur Erhaltung von Brücken 13

Was internationale Studien empfehlen 14

Intelligente Technologien zur Diagnose und Wartung 15

„Digitale Brücken“ und vorausschauende Erhaltung 17

Risiken managen, Kosten kontrollieren 18

Quellen und Literaturhinweise 19

Autorschaft und Arbeitsmethode 20

Vorwort

Mit dem vorliegenden White Paper möchten wir Hauptverwaltungsbeamten und -beamten sowie weiteren Verantwortlichen in Kommunen einen Überblick über das Thema Wartung und Erhaltung von Brücken geben. Auch wenn die Medienberichterstattung meist spektakuläre Fälle auf Bundesfernstraßen aufgreift: Etwa die Hälfte aller Brückenbauwerke steht in Städten, Kreisen und Gemeinden. Und auch hier wächst der Handlungsdruck.

Sie erhalten hier in kompakter Form einen Überblick über ein Thema, das viele noch unterschätzen.



Infrastruktur braucht gute Pflege

«Hohe Belastungen lassen die kommunale Infrastruktur schneller altern. Die Folgen können erheblich sein – und gehen bis hin zur persönlichen Haftung.»

Unsere Gesellschaft wird immer älter, die Lebenserwartung steigt. Menschen bleiben länger fit und aktiv, der medizinische Fortschritt lässt uns besser altern. Auch unsere Infrastruktur wird älter. Nur wird sie naturgemäß mit der Zeit nicht besser. Vor allem, wenn sie keinen regelmäßigen „Checkup“ und nicht die nötige Pflege bekommt. Setzen Kommunen genügend Mittel ein, um sie zu erhalten? Und wenn sie es nicht tun, etwa weil die Mittel knapp sind: Welche Folgen hat das? Die Antwort lautet: Folgen für den Verkehr, für die Wirtschaft, für den kommunalen Haushalt, für die Menschen vor Ort. Folgen finanzieller Art bis hin zur persönlichen Haftung derer, die vor Ort für die in Verkehr genommenen Bauwerke Verantwortung tragen.¹

Große Infrastrukturaufgaben zu lösen, erfordert Zeit. Beim schnellen Internet hat Deutschland in den letzten Jahren erhebliche Fortschritte erzielt.² Das Bahnnetz wird hingegen noch Jahrzehnte brauchen, bis Deutschland auf der Schiene wieder wettbewerbsfähig ist, weil in den 90er Jahren andere politische Ziele verfolgt wurden. Kommunen kämpfen um den Erhaltungsstandard von Schulen und öffentlichen Gebäuden. Das in der Zeit des Wirtschaftswachstums nach dem Krieg mit viel Energie aufgebaute, aber heute zum Teil überalterte Straßennetz birgt schwer kalkulierbare Risiken, vor allem bei Bauwerken wie Brücken und Tunneln.

¹vgl. Bundesingenieurkammer e. V., 2021

²vgl. Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen, 2023

Die Folgen dieses Investitionsbedarfs bleiben für Laien lange unsichtbar. Sie kommen erst dann in das öffentliche Bewusstsein, wenn eine Lebensader wie die so genannte „Königin der Autobahnen“, die A 45 bei Lüdenscheid, für Jahre unbefahrbar wird³ – und eine ganze Stadt unter der Verkehrslast leidet. Oder wenn sich Betonstücke lösen, die auch Menschen gefährden könnten.⁴ Die Risiken nicht ausreichender Bauwerkskontrollen und -erhaltung sind stets erheblich.

Das gilt nicht nur für Fernstraßen, es gilt besonders in Kreisen und Kommunen. Denn hier stehen die meisten Bauwerke. Die ab den 50er Jahren zuerst schnell angelegte, dann in den wirtschaftlich erfolgreichen Jahrzehnten gründlich ausgebauten Infrastruktur ist alt geworden. Auch noch so „solide“ gebaute Ingenieurbauwerke halten nicht ewig. Höhere Verkehrsbelastungen (wie immer mehr Sondertransporte) und stärkere Umwelteinflüsse tragen dazu bei. Wegen der Europäisierung von Normen wurden viele Bauwerke noch einmal neu bewertet und ihre Restlebensdauer ermittelt. Was in den 70er Jahren im Spannbetonbau Stand der Technik war, wird heute differenzierter beurteilt. Erfahrungen mit aggressiver Außenluft, die sich auf das Korrosionsverhalten von Bauwerken auswirkt, bestimmen heute das Denken der entwerfenden Ingenieurinnen und Ingenieure.

Man hat dazugelernt und wendet das aktuelle Wissen auf die Infrastruktur an. Aber das gilt vorrangig für Neubauten.

Es darf nicht passieren, dass wichtige Brücken nicht mehr befahrbar sind und in einem jahrelangen Prozess, mit hohem finanziellen Aufwand, erneuert werden müssen. Womöglich müssten ganze Trassen gesperrt werden, ohne dass es bereits Planungen für Ersatzbauwerke gibt, und schlimmstenfalls kommt es zu Unfällen mit Verletzten oder gar Toten.

Nehmen Sie sich eine halbe Stunde Zeit für unsere kompakte Analyse zur Bauwerkserhaltung in Kommunen: Wir fassen aktuelle Studien prägnant zusammen, stellen unsere eigene Studie dazu vor, was Verantwortliche in Kommunen zu diesem Thema sagen, und erläutern die wichtigsten Lösungsansätze auf wissenschaftlicher Grundlage.

Sie werden danach einen neuen Blick auf die Dinge haben. Gemeinsam finden wir Lösungen für das Dilemma zwischen finanziellen Zwängen und der Verantwortung für eine gut verfügbare Infrastruktur. Sie ist die Grundlage für ein modernes Leben und eine prosperierende Wirtschaft in jeder Region.

³vgl. Zajonz, 2023

⁴vgl. Toth et al., 2023



Deutschlands Brücken: Die Fakten

«Bei Brücken an Bundesfernstraßen ist der Investitionsbedarf hoch und die Bundesregierung erhöht die Finanzmittel. Etwa die Hälfte der Brücken in Deutschland liegt jedoch in der Verantwortung von Kommunen. Die Wissenschaft stellt unterschiedliche Strategien zur Erhaltung vor.»

Der Erhaltungszustand von Brückenbauwerken wird für Bundesfernstrassen regelmäßig erhoben. Die Zahlen der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) zeigen, dass die Alterung der Infrastruktur hier insgesamt noch „in Schach gehalten“ wird. Dennoch müssen nach dem aktuellen Überblick der BASt die bislang für die Erhaltung eingeplanten Mittel mehr als verdoppelt werden.⁵ Allein im Bundesfernstrassennetz existieren in Deutschland etwa 40.000 Brückenbauwerke, insgesamt sollen es über 120.000 sein.⁶

Der hohe Erhaltungsbedarf ist vermutlich auch dadurch entstanden, dass der Handlungsdruck jahrzehntelang gering schien und Haushaltssmittel vordringlich in andere Projekte geflossen sind. Für die eigene Risikoeinschätzung vor Ort kann es jedenfalls helfen, die aktuelle Gesamtsituation in Deutschland zu betrachten.

Die Sicherheit deutscher Brücken ist regelmäßig Gegenstand von Medienberichten.⁷ Wenn bei 1,7 % der Brücken

„die Standsicherheit und/oder Verkehrssicherheit erheblich beeinträchtigt oder nicht mehr gegeben“⁸ ist, so klingt das überschaubar. Aber es geht dabei um etwa 700 Brücken. Insgesamt zwölf % der Brücken werden von Prüfingenieurinnen und -ingenieuren in ihrem Erhaltungszustand als nicht ausreichend oder ungenügend bewertet.

Der Investitionsbedarf ist deshalb erheblich. Bis 2021 hat der Bund jährlich mehr als EUR 7 Mrd. für Fernstraßen ausgegeben, den Großteil davon für die Erneuerung. Zum Vergleich: Im Schnitt der Jahre 2010 bis 2013 waren es nur EUR 5,4 Mrd. Das Sonderprogramm für Brücken, welches 2017 begann und bis 2020 reichte, umfasste EUR 2,9 Mrd. Ab 2026 sind EUR 2,5 Mrd. pro Jahr für Brücken an Bundesfernstraßen vorgesehen.⁹

⁵vgl. Bundesanstalt für das Straßenwesen (BASt), 2023b

⁶vgl. Goldbeck/Linder, 2023

⁷vgl. Schumann/Funk, 2018

⁸vgl. Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV), 2020

⁹vgl. BMDV, 2023



Und in den Kommunen? Aktuell sieht es nicht so aus, als ob das Investitionsvolumen, das kommunale Haushalte bereitstellen können, zur Behebung des Investitionsstaus ausreicht. Dies belegt auch unsere Umfrage (s. Kap. 3). Tim-Oliver Müller, Hauptgeschäftsführer beim Hauptverband der Bauindustrie, beschreibt die Herausforderung „als Generationenaufgabe, die wir nur mit einer höheren Produktivität durch digitale Prozesse, eine kooperative Projektabwicklung und serielle Methoden lösen werden“.¹⁰

Auf Autobahnen ist es insbesondere der Schwerlastverkehr, der die „Tragreserven“ von Brückenbauwerken angegriffen hat. Bei den allermeisten handelt es sich (wie in den Kommunen auch) um Spannbeton- oder Stahlbetonbrücken. Eine wissenschaftliche Studie von Prof. Dr.-Ing. Martin Empelmann, Leiter des Fachgebietes Massivbau am Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der TU Braunschweig, hat herausgefunden, dass die häufigste Schwachstelle der Brücken im Beton zu finden ist. Dies hat unterschiedliche Ursachen, die im Lauf der Zeit u. a. zu Rissbildungen führen können.¹¹ Ein wesentlicher Einflussparameter ist zum Beispiel die Dichtheit der Betonstruktur.

Außerdem vergleicht die Studie zwei verschiedene Lösungsstrategien: erstens eine besonders kostengünstige Planung und Erstellung, mit entsprechend höherem Aufwand bei Unterhalt und Instandsetzung. Zweitens das genaue Gegenteil: ein hoher Planungs- und Erstellungsauflauf mit naturgemäß geringeren Folgekosten. Alle Maßnahmen zur Steigerung der Lebensdauer einer Brücke spiegeln sich in den Baukosten wider.

Im Alltag kommt es aber darauf an, die schon vorhandenen Brücken möglichst lange betriebsfähig zu erhalten, um so hohe Ersatzinvestitionen zu vermeiden. Auch unter Berücksichtigung von Nachhaltigkeitszielen steht der Erhalt der Substanz im Fokus. Es ist also besonders wichtig, vorhandenen Brücken eine möglichst lange Lebensdauer zu ermöglichen. Eine engmaschige, vorausschauende Überwachung und Wartung können dazu beitragen.

Wie konsequent dies tatsächlich verfolgt wird und wer diese Arbeiten übernimmt, haben wir, neben vielen weiteren Aspekten, durch eine eigene Umfrage ermittelt.

¹⁰vgl. Schrüfer, 2022

¹¹vgl. Empelmann, 2008

¹²vgl. Bertelsmann Stiftung, 2022



Was Kommunen zu ihren Bauwerken sagen

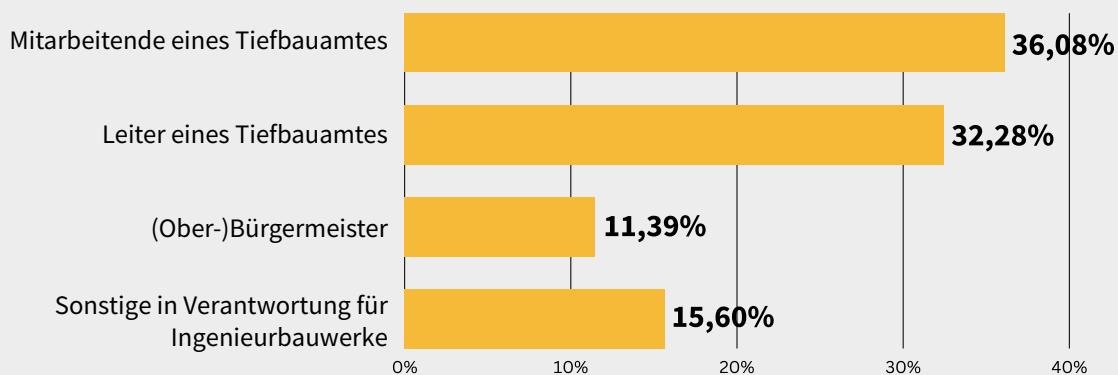
«Unsere Umfrage zeigt: Verantwortliche in Kommunen erkennen den Handlungsdruck. Die vorhandenen Mittel für Sanierungen liegen aber unter dem Bedarf. Das Interesse an vorausschauender Wartung wächst.»

Wie denken die Verantwortlichen in den Kommunen selbst über das Thema Bauwerkserhaltung? Wie schätzen sie den Zustand „ihrer“ Brücken ein, und was unternehmen sie zur Prüfung und Erhaltung? Zu diesen Fragestellungen haben wir eine Onlinebefragung durchgeführt, die auf 171 Antworten basiert.¹³ Die Umfrage ist nicht formal repräsentativ, liefert aber interessante Hinweise zu den erforschten Fragestellungen.

Ein Drittel der Befragten leitet Tiefbauämter, ein weiteres Drittel ist anderweitig in Tiefbauämtern tätig, das letzte Drittel verteilt sich auf weitere Expertinnen und Experten wie (Ober-)Bürgermeisterinnen und -Bürgermeister, Beigeordnete, Kämmerinnen und Kämmerer (und Personen in einigen weiteren Verwaltungsfunktionen).

Frage Nr.1 Um die nachfolgenden Fragen besser auf Ihre Situation anpassen zu können, brauchen wir ein paar Informationen zu Ihnen. Bitte nennen Sie Ihre aktuelle Position.

Zwei Drittel der Befragten arbeiten im Tiefbau oder leiten diesen Bereich sogar.



Aus Gründen der leichteren Lesbarkeit wurde in den Grafiken auf die explizite Nennung beider Geschlechter verzichtet. Selbstverständlich sind jedoch jeweils alle Geschlechter angesprochen.

Abbildung 1: Anteile der beruflichen Positionen, in denen die Befragten beschäftigt sind.

¹³ Die Befragung wurde von der Strategieberatung MODULDREI vom 16. August bis zum 11. September 2023 durchgeführt.

Zustand der Bauwerke

Die hier vertretenen Kommunen haben im Durchschnitt rund 80 Brücken zu betreuen – die Spanne reicht dabei von nur drei bis zu 1000 Brücken. Was sagen die Befragten zu deren baulichem Zustand? „Sehr gut“ ist er bei keinem Bauwerk, aber immerhin fünf % der Brücken sind in „gutem Zustand“. Und etwas mehr als die Hälfte (53,61 %) wird als „befriedigend“ eingeschätzt.

Gut 40 % der Brücken geben für die Befragten also Anlass, sehr genau hinzusehen: Bei 35 % ist der bauliche Zustand „noch ausreichend“, bei etwas mehr als fünf % gilt er als „nicht ausreichend“. Die schlechteste Note möchte (wie die beste) niemand vergeben.

Die Daten zeigen also deutlich, dass an vielen Brücken in den befragten Kommunen etwas getan werden muss.

Gemessen am durchschnittlichen Lebensalter von Brücken in Deutschland (die heutige Norm geht für Neubauten von 100 Jahren aus) sind die Selbsteinschätzungen vermutlich sogar recht positiv. Kommunen, die sich um Transparenz bemühen, geben öffentlich bis zu 25 % „ausreichende“ oder „ungenügende“ Zustandsbewertungen an. Der Problemdruck ist jedenfalls erkannt.

Grundsätzlich dürfte vor allem Hauptverwaltungsbeamten und -beamten bewusst sein, dass sie für Infrastruktur im Eigentum der Kommune Verantwortung tragen – auch dann, wenn sie die Alltagsarbeit natürlich an ihre Fachleute delegieren. Einige Antworten legen nahe, dass das Thema persönliche Haftung vielen nicht bewusst ist.

Ressourcen für die Bauwerkserhaltung

Es besteht eine erhebliche Lücke zwischen dem festgestellten Investitionsbedarf und dem tatsächlichen Investitionsvolumen: Auf gut EUR 323.000 pro Jahr schätzen die Befragten den „konkreten Sanierungsbedarf“ an Brücken im Durchschnitt (die Werte gehen von EUR 20.000 bis zu einer Mio.). Dem steht aber nur ein durchschnittliches Budget von EUR 210.000 pro Jahr gegenüber. Nicht alle Befragten kennen den konkreten Sanierungsbedarf der Brücken in ihrer Kommune. Dass sie diesen nicht beziffern können, liegt häufig an den ihnen zur Verfügung stehenden personellen Ressourcen.

Frage Nr.11 Kennen Sie den konkreten jährlichen Sanierungsbedarf (in Euro) Ihrer Ingenieurbauwerke bzw. Brücken?

Der konkrete Sanierungsbedarf ist vielen jedoch nicht bekannt.

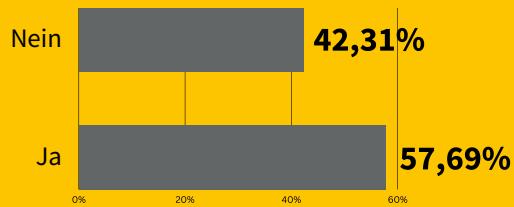


Abbildung 2: Anteile der Personen, die über die konkreten Kosten ihrer Ingenieurbauwerke informiert sind.



Frage Nr.12 Wenn nein, was fehlt Ihnen, um den Zustand der Ingenieurbauwerke bzw. Brücken in Ihrer Kommune bewerten und den Sanierungsbedarf konkret bestimmen zu können? (Mehrfachauswahl möglich)

Über 42 Prozent kennen den konkreten Sanierungsbedarf nicht. Das liegt vor allem an der mangelnden personellen Ausstattung. Aber auch Geld spielt eine Rolle.

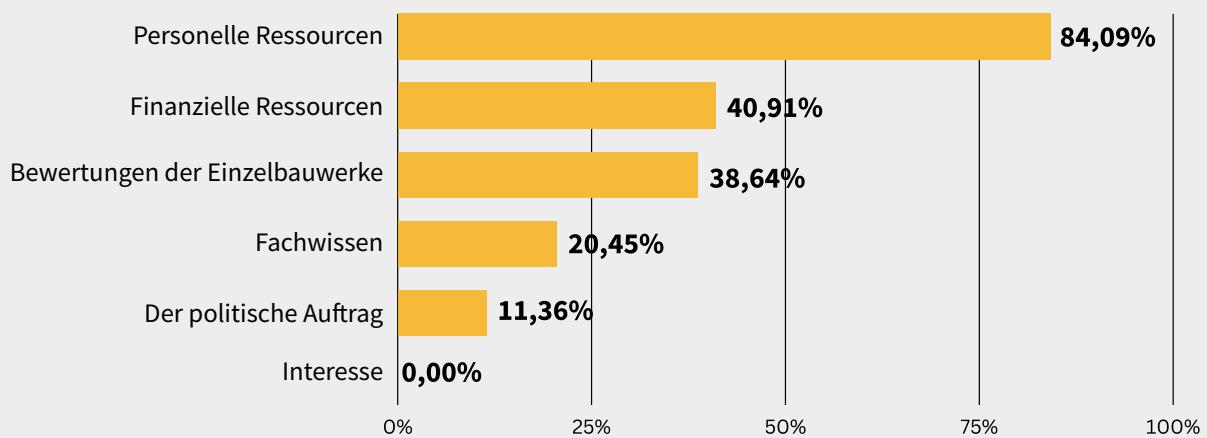
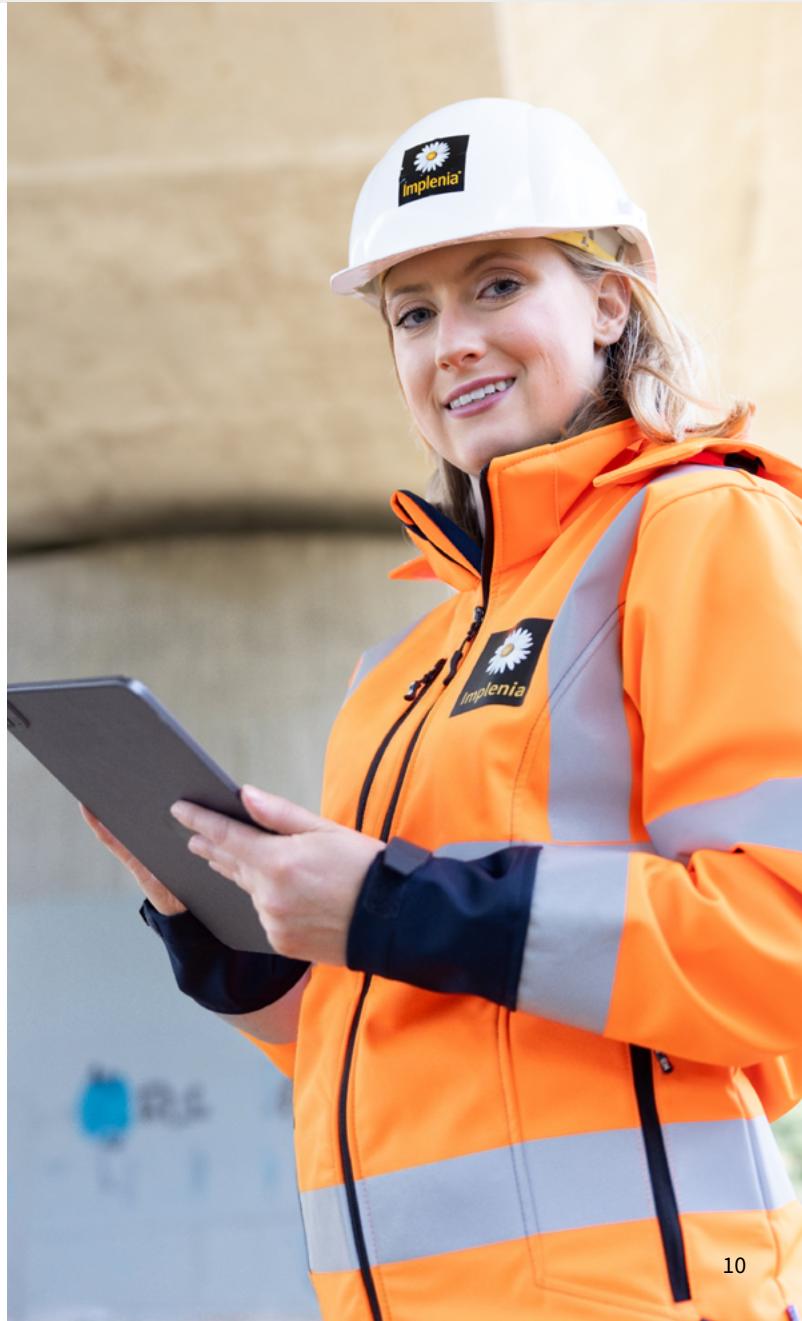


Abbildung 3: Aufschlüsselung der fehlenden Ressourcen, damit Beschäftigte ihren konkreten Sanierungsbedarf bestimmen können.

Wenn also nur zwei Drittel des Erhaltungsbedarfs gedeckt werden können, so ist diese Lücke im relativ schlechten Zustand von Brücken bereits sichtbar: Die Vernachlässigung von Erhaltungsmaßnahmen führt zuerst zu kaum spürbaren, langsamem Verschlechterungen, kann aber (je nach Alter, Bauart und -qualität sowie Erhaltungsprogramm einer Brücke) ab einem bestimmten Zeitpunkt den Verfall beschleunigen.

Wie steht es um die Prüfung der betroffenen Bauwerke? Knapp 94 % führen alle sechs Jahre die Hauptprüfung durch, weitere knapp 80 % zusätzlich die einfache Prüfung drei Jahre nach der Hauptprüfung. 68 % führen außerdem eine jährliche Besichtigung durch. Weitere 22 % beobachten halbjährlich. Fast die Hälfte der Befragten gibt an, dass auch öfter als alle sechs Monate Streckenkontrollen durchgeführt werden. Diese Ergebnisse sind insofern erstaunlich, als dass die sechsjährige Haupt- sowie die Zwischenprüfung vom Standard der DIN 1076 verbindlich vorgeschrieben sind. Hier sollte die Umsetzung also bei 100 % liegen. Knapp 20 % der Befragten räumen sogar ein, insgesamt eher unregelmäßig zu überprüfen. Sie gehen damit erhebliche Risiken ein – nicht nur für die Bausubstanz, sondern auch für sich selbst.



Frage Nr.13 Welche der folgenden Bauwerksprüfungen werden in Ihrer Kommune durchgeführt? (Mehrfachauswahl möglich)

Geprüft werden die Bauwerke regelmäßig. Die Abstände variieren.

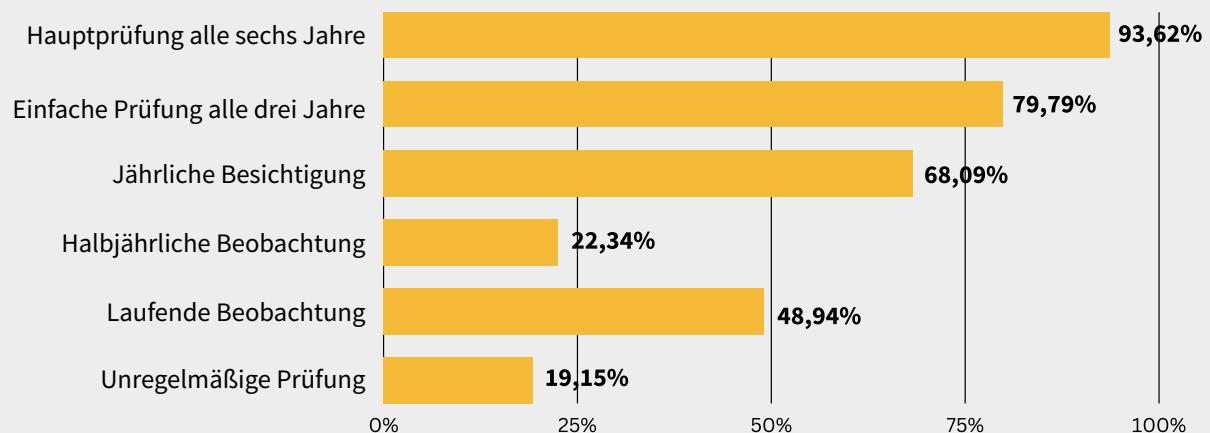


Abbildung 4: Angaben der Befragten bezüglich der in ihrer Kommune durchgeführten Bauwerksprüfungen.

Frage Nr.16 Welche Bereiche des Bauwerksmanagements setzen Sie um, welche würden Sie gerne umsetzen? Bitte unterscheiden Sie zwischen Eigenleistungen (intern) und dem Einsatz von externen Ressourcen (extern).

So organisieren bzw. wünschen sich Kommunen ihr Bauwerksmanagement.

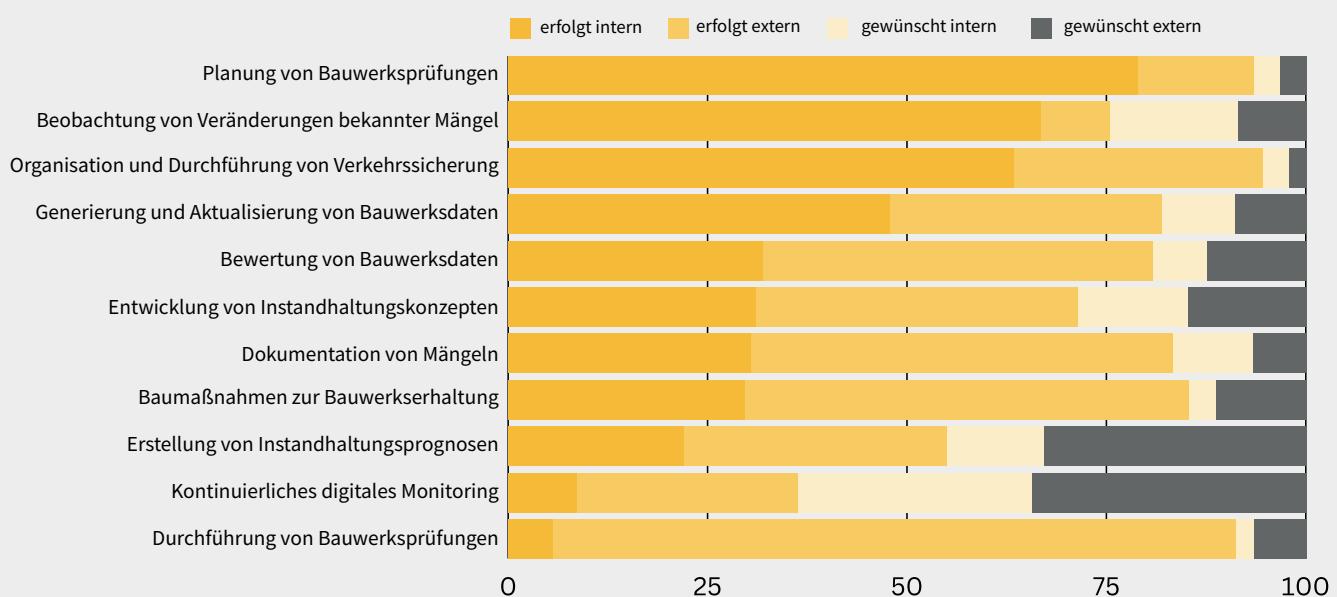


Abbildung 4: Aufschlüsselung der derzeitigen und gewünschten Organisation des Bauwerksmanagements und ob diese intern oder extern erfolgt.

Umsetzung von Bauwerkserhaltung

Den befragten Kommunen stehen im Durchschnitt 2,5 Mitarbeitende für die Bauwerkserhaltung zur Verfügung, der Spitzenwert liegt bei 27. Ausgehend von den hier erhobenen Daten, wäre eine Person „statisch“ für 32 Brücken zuständig. Angesichts der beschriebenen Problemlage (also bspw. der genannten Anzahl der zu beobachtenden Bauwerke) scheint die Personalausstattung also eher knapp bemessen.

Nötige (kleinere) Baumaßnahmen führen 30 % selbst durch, zwei Drittel lagern diese aus oder streben es im Bedarfsfall jedenfalls an. Die externe Umsetzung von Baumaßnahmen nach Ausschreibung von Einzelleistungen finden mit 56 % ebenso viele Befragte attraktiv wie langjährige Rahmenverträge mit Beauftragung von Einzelleistungen (57 %). Im hier diskutierten Kontext ist die digitalisierte,

teilautomatisierte Beobachtung von Bauwerken mit Hilfe moderner Sensorik ein wichtiges Thema. Sie liefert die Gewähr dafür, den Zustand eines Bauwerks tatsächlich und in Echtzeit umfassend beurteilen zu können. Noch sind die Befragten hier zurückhaltend eingestellt, aber das Interesse an solchen Lösungen ist bereits feststellbar.

Geht es zunächst um eine Software, die ein systemisches Instandhaltungsmanagement ermöglicht, so nutzen diese heute nur 29 % der Befragten – aber immerhin weitere 13 % planen es. In zwei Dritteln der Fälle kommt hier übrigens die Software „SIB Bauwerke“ zum Einsatz. Weitere 35 % planen den Einsatz einer solchen Software (noch) nicht, hätten diese Technik aber gerne. Nur 21 % haben das nicht vor. Der Trend zur Digitalisierung ist also bei der Erfassung und Auswertung von (meist analog generierten) Daten klar erkennbar.

Frage Nr.14 Verfügen Sie über ein systematisches Instandhaltungsmanagement?

Die Mehrheit nutzt dabei keine Software. Viele würden es aber gerne.

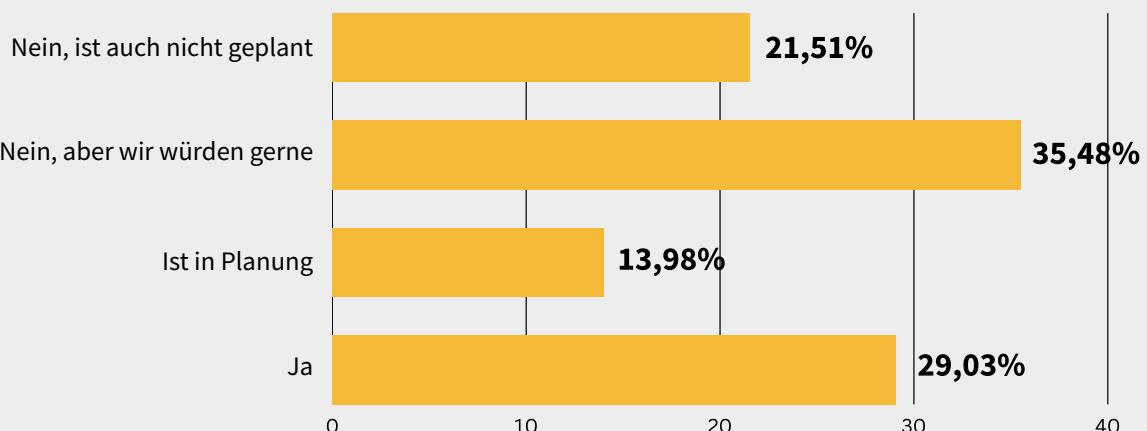


Abbildung 5: Verteilung der aktuellen Nutzung von systematischem Instandhaltungsmanagement.

Wie sieht es bei der Automatisierung aus? Bei der Frage „Verwenden Sie bereits (digitale) Monitoringsysteme in einzelnen Bauwerken?“ haben 61 % den Mehrwert von Monitoring noch nicht erkannt und sagen: „Nein. Und das planen wir auch nicht.“ Sechs % wenden solche Technologien bereits an, acht % planen konkret, 25 % hätten gerne solche Anwendungen. Es wird interessant sein, diese Werte in den nächsten Jahren zu beobachten. Denn das digitale Monitoring dürfte sowohl für die Verlängerung der Lebensdauer neuer Brücken als auch für Bauwerke in den „besten Jahren“ der einzige bezahlbare Weg zu einer wirksamen Krisenvermeidung sein. Genau diesen Aspekt werden wir im nächsten Kapitel genauer betrachten.

Frage Nr.15 Verwenden Sie bereits (digitale) Monitoringsysteme an einzelnen Bauwerken?

Bauwerksmonitoring nutzen wenige. Die allermeisten wollen es allerdings auch nicht.

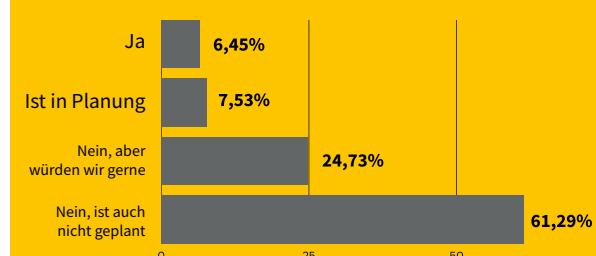


Abbildung 6: Verteilung der gegenwärtigen und möglicherweise künftigen Anwendung von digitalen Überwachungssystemen.

Zeitgemäße Lösungen zur Erhaltung von Brücken

«Prinzipiell lässt sich sagen, dass vorausschauende Instandhaltung positive Auswirkungen auf die Lebensverlängerung, die Kostenreduzierung und die ökologische Nachhaltigkeit mit sich bringt.»

Welche Technologien stehen Ihnen zur Verfügung, um den Zustand von Brücken und anderen Bauwerken einzuschätzen? Und welche ist dann die richtige Strategie? In diesem Überblick geht es um die Bauwerkserhaltung bei Ingenieurbauwerken. Lassen Sie uns dazu vorab wichtige Begriffe klären.

Ein „Ingenieurbauwerk“ ist in Deutschland durch die DIN 1076 definiert: Es handelt sich dabei um Bauwerke im Zuge von Straßen und Wegen, also Brücken, Verkehrszeichenbrücken, Tunnel, Trogbauwerke sowie Stütz- und Lärmschutzbauwerke.

Mit „Bauwerkserhaltung“ meinen wir den Werterhalt und die Sicherstellung der Funktionssicherheit von Brücken (und anderen Ingenieurbauwerken). Eine systematische Bauwerkserhaltung umfasst die Nutzung eines Bauwerk-

Management-Systems zur Planung und Dokumentation von Bauwerksprüfungen und -informationen, aber auch zur optionalen Durchführung eines Echtzeit-Controllings individueller Auswertungen. Dafür werden Bestands- und Zustandsdaten benötigt, so dass eine fortlaufende Schadenserfassung und -bewertung möglich ist. Wichtig ist in diesem Zusammenhang auch der Begriff „Monitoring“.

Der Begriff bezieht sich auf die ganzheitliche, systematische Überwachung eines Bauwerks und dessen Reaktionen sowie der einwirkenden Größen, die mithilfe eines Messsystems über einen definierten Zeitraum festgehalten werden. Monitoring enthält außerdem die Erfassung von wichtigen Informationen, die zur Ableitung von Maßnahmen im Sinne der Asset-Management-Aktivitäten dienen.¹⁴

¹⁴ Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein e. V. (DBV), 2018



Was internationale Studien empfehlen

Der Erhalt von Ingenieurbauwerken und deren Überwachung, insbesondere von Brücken, ist natürlich keine Herausforderung, die Deutschland allein bewältigen muss. Die besten Lösungen für diese Aufgabe werden international diskutiert. Im folgenden Abschnitt fassen wir einige interessante Studien für Sie im Überblick zusammen. Sie finden hierzu auch im Anhang eine ausführliche Literaturliste.

Wichtig sind zunächst solche Forschungsansätze, die sich mit der Verlängerung der Lebensdauer von Bauwerken befassen. Hier hat die Japanische Gesellschaft für Stahlbau eine Studie¹⁵ vorgelegt, die zunächst die verschiedenen im Einsatz erprobten Technologien zur Verlängerung der Lebenserwartung von Brücken diskutiert. Obwohl sich die Technologien zur Sensorik und zur Bewertung bereits beträchtlich weiterentwickelt haben, verdeutlicht die Studie, welche Potenziale noch erschlossen werden können. Dabei geht es vor allem um den Aspekt der „intelligenten Brücken“, die sich durch smarte Technologie selbst überwachen und sogar reparieren.

Eine Arbeit unter Leitung der Universität von Colorado untersucht die Bauwerkserhaltung unter dem Kostenaspekt.¹⁶ Wie summieren sich Wartungs- und Ausfallkosten in verschiedenen Szenarien auf, und was ist (bei nüchterner Betrachtung) die optimale Lösung?

Bei der Verwaltung der physischen Infrastruktur liegt der Schwerpunkt während ihrer gesamten Lebensdauer auf der Realisierung von Werten statt auf der Minimierung von Kosten. Infrastruktureigentümerinnen und -eigentümer müssen ein Gleichgewicht finden zwischen Kosten und Risiken, die sich aus der sinkenden Finanzierung und der zunehmenden Regulierung ergeben. Der Studie nach kann Sensorik Infrastruktureigentümerinnen und -eigentümern dabei helfen, das beste Preis-Leistungs-Verhältnis zu erzielen und wertorientierte Entscheidungen zum Infrastrukturmanagement zu treffen.

Ghodoosi et. al. haben untersucht,¹⁷ welche Vorteile auch kleine Interventionen an Bauwerken gegenüber dem bloßen Abwarten haben. Das Kernergebnis: Mit vorausschauender Instandhaltung können die Lebenszykluskosten von Bauwerken erheblich gesenkt werden. Um diese Kostensparnis zu erzielen, kommen neben der nötigen Datenerfassung auch Algorithmen zur Wartungsplanung zum Einsatz.

Eine interessante US-amerikanische Studie¹⁸ hat traditionelle und moderne Techniken zur Bauwerksüberwachung verglichen: Welche Vorteile haben digitale Überwachungstechnologien als Ergänzung zu „klassischen“ Sichtprüfungen? Die Forschenden kommen zu dem Ergebnis, dass eine „hybride“ Herangehensweise die größte Effizienz verspricht, also eine Kombination digital generierter Daten mit menschlicher Erfahrung.



Nicht nur Ausfallrisiken und Kosten sind bei Ingenieurbauwerken relevant. Immer mehr geraten auch ökologische Nachhaltigkeitsaspekte in den Blick. Ein chinesisches Forscherteam hat alle Aspekte gleichzeitig betrachtet:¹⁹ Einerseits müssen die Auswirkungen klimatischer Veränderungen auf die Bauwerke im Blick behalten werden. Andererseits führt eine vorausschauende Erhaltung von z. B. Brücken auch zu deutlich verringerten ökologischen Kosten. Frangopol et al.²⁰ haben Methoden zur Lebensdaueroptimierung erforscht. Dabei wird die Inspektion und Reparatur von alternden Strukturen verwaltet und Faktoren wie Inspektionsqualität, Reparaturopptionen, Alterung und finanzielle Aspekte berücksichtigt. Non-uniforme Inspektionsintervalle sind kosteneffizienter als uniforme.

Beide Themen – Kosten und Nachhaltigkeit – verknüpfen will der dänische Wissenschaftler Jens Sandager Jensen.²¹ Er setzt auf Erfahrungsaustausch und aktuelle Technologien, um Kosten während des Lebenszyklus zu verringern und Risiken (bis hin zum Verlust von Menschenleben) zu minimieren. Im Allgemeinen ist die präventive Instandhaltung der Korrekiven in vielerlei Hinsicht überlegen. Alle Beteiligten, die sich mit Betrieb und Instandhaltung von Brücken befassen, müssen sich auf bestimmte Kriterien und deren Verifizierung einigen. Dafür ist es unabdinglich, qualitative Daten zu sammeln und zu teilen. Die Verwendung von Drohnen erweist sich für die Brückeninspektion als vorteilhaft. Dennoch bedarf es Anpassungen bei der Gesetzgebung zur Nutzung von Drohnen und anderen Robotern, aufgrund der assoziierten Gefahren über dem oder in der Nähe des Straßenverkehrs.

¹⁵ vgl. Watanabe et al., 2013, S. 471–481

¹⁶ vgl. Soga/Schooling, 2016

¹⁷ vgl. Ghodoosi et al., 2008

¹⁸ vgl. Agdas et al., 2016

¹⁹ vgl. Liu et al., 2022

²⁰ vgl. Frangopol et al., 1997

²¹ vgl. Jensen, 2019, S. 72–83

Intelligente Technologien zur Diagnose und Wartung

Um Brücken möglichst lange nutzen zu können, Straßen-sperrungen zu vermeiden und Kosten zu reduzieren, ist eine laufende Beobachtung des Bauwerks die wichtigste Grundvoraussetzung. Typischerweise werden Bauwerke, vor allem Brücken, durch regelmäßige Sicht- und Materialkontrollen überprüft. Für das Verständnis vorausschauender Wartung ist dies auch weiterhin unerlässlich: Innovative Technologien machen Prüfingenieurinnen und -ingenieure nicht überflüssig. Sie ermöglichen ihnen vor allem, effizienter, genauer und mit qualitativ hochwertigeren Ergebnissen zu arbeiten.

Angesichts der hohen Zahl von Brücken, deren in Deutschland hohen Durchschnittsalters,²² des Personalmangels in den zuständigen Ämtern und des auf Kommunen lastenden Kostendrucks sind heute digital getriebene Lösungen

auf dem Vormarsch, die moderne Sensorik mit optischer Untersuchung (bspw. mit Drohnenaufnahmen) verbinden.

Für Laien sind Brücken von außen gesehen zunächst ein Standardprodukt – tatsächlich aber ist jedes Bauwerk so individuell wie sein Umfeld. Alter, Material, Konstruktion, Verkehrsbelastung und äußere Bedingungen sind sehr individuell. Um die Lebensdauer einer Brücke zu optimieren, ist ein Erhaltungskonzept sinnvoll. Es plant Überwachung und Instandhaltung und bezieht auch die Finanzierung mit ein – mit dem Ziel, die Lebensdauer des Ingenieurbauwerks zu maximieren.

Bei der Entwicklung eines Erhaltungskonzepts für Brücken sind mehrere Faktoren zu berücksichtigen:

1. Alter und Zustand der Brücke sind ein entscheidender Faktor bei der Entwicklung des Erhaltungskonzepts. Es ist wichtig, den aktuellen Zustand der Brücke genau zu erfassen und zu dokumentieren, um gezielte Erhaltungsmaßnahmen planen zu können.
2. Die Verkehrslasten und Belastungen, denen die Brücke ausgesetzt ist, können den Verschleiß der Brücke beschleunigen.
3. Auch Umgebungseinflüsse wie Feuchtigkeit, Temperaturschwankungen oder Umweltverschmutzung sind relevante Faktoren.
4. Es ist wichtig, realistische Budgets festzulegen, um eine effektive Erhaltung der Brücke sicherzustellen.
5. Die Wartungshistorie der Brücke gibt Aufschluss über durchgeführte Reparaturen und Erhaltungsmaßnahmen in der Vergangenheit.

Der letzte Punkt der Wartungshistorie spielt eine zentrale Rolle. Die alleinige Betrachtung des aktuellen Zustandes einer Brücke gibt nur bedingt Aufschluss über ihre Zukunft. Die Zustandsentwicklung ist ausschlaggebend.

Wichtig ist, klare Zielsetzungen für das Erhaltungskonzept zu definieren. Meist geht es um mehrere Ziele gleichzeitig: um die Verlängerung der Lebensdauer, die Reduzierung von Erhaltungskosten und die Erhöhung der Sicherheit.

²²vgl. BASt, 2023a



Der Einsatz von innovativen Technologien bietet dabei viele Vorteile. Sensoren und Drohnen können Daten präziser und detaillierter erheben als Menschen.^{23,24} Sie können den Zustand auch an Stellen überprüfen, die schwer zugänglich sind. Innovative Technologien können bei der Prüfung von Brücken während des Lebenszyklus auf verschiedene Weise Kosten einsparen.

Insgesamt können innovative Technologien viel dazu beitragen, die Effizienz und Genauigkeit von Brückeninspektionen zu verbessern, was zu Kosten einsparungen durch geringere Wartungskosten und durch eine längere Lebensdauer der Brücken führt.

²³ vgl. Soga/Schooling, 2016

²⁴ vgl. Kot et al., 2021, S. 321–344



Effizientere Datenerfassung

Durch den Einsatz von Drohnen, Laserscannern oder anderen technologischen Instrumenten können Inspektionen schneller und effektiver stattfinden als durch manuelle Methoden. Dies reduziert die Arbeitszeit, die für die Inspektion benötigt wird, und senkt somit die Kosten.



Präzisere Datenanalyse

Durch die Verwendung von Sensoren, die die Brückenbelastung, Feuchtigkeit oder andere wichtige Faktoren messen können, können Ingenieurinnen und Ingenieure präzisere Daten über den Zustand der Brücke sammeln. Dadurch können potenzielle Probleme frühzeitig erkannt und behoben werden, bevor sie zu teuren Schäden führen.



KI-basierte Technologien

Künstliche Intelligenz (KI) und maschinelles Lernen (ML) können eingesetzt werden, um große Mengen von Daten aus der Inspektion zu analysieren und Abweichungen von der Norm zu erkennen. Dadurch können Ingenieurinnen und Ingenieure schneller und präziser entscheiden, welche Reparaturen oder Wartungsarbeiten durchgeführt werden müssen.



„Digitale Brücken“ und vorausschauende Erhaltung

Neben dem Einsatz von Drohnen und Sensoren zur Datenerhebung ist es im Rahmen eines zeitgemäßen Konzepts für eine längere Lebensdauer sinnvoll, einen digitalen Zwilling zu erstellen. Dabei handelt es sich um ein virtuelles Spiegelbild eines physischen Objekts oder Systems, das in Echtzeit aktualisiert wird, alle relevanten Informationen beinhaltet und eine genaue und umfassende Überwachung ermöglicht. Bei der Bauwerkserhaltung von Brücken kann ein digitaler Zwilling sehr hilfreich sein: Er kann Daten aus verschiedenen Quellen sammeln, um den Zustand der Brücke in Echtzeit zu überwachen. Dadurch können Ingenieurinnen und Ingenieure Vorhersagen darüber treffen, wie die Brücke in verschiedenen Situationen reagieren wird, potenzielle Probleme frühzeitig erkennen, vorbeugend gezielte Wartungs- und Reparaturmaßnahmen ergreifen, bevor größere Schäden entstehen, und somit die Lebensdauer verlängern.

Ein digitaler Zwilling kann auch helfen, die Planung von Wartungsarbeiten zu optimieren, indem er detaillierte Informationen über den Zustand der Brücke liefert. Außerdem können Ingenieurinnen und Ingenieure Szenarien simulieren, um potenzielle Auswirkungen von Veränderungen oder Ereignissen auf die Brücke zu beurteilen. Dies kann helfen, die Entscheidungsfindung zu unterstützen und die Risiken von Veränderungen zu minimieren.

Das Ziel, die Lebenserwartung von Brückenbauwerken und gleichzeitig die Kosten für Kommunen zu optimieren, erreicht man am besten mit einer vorausschauenden Erhaltungsstrategie. Unter Fachleuten: Predictive Maintenance. Diese Erhaltungsstrategie ist in anderen Industrien bereits aktueller Stand der Technik. Die Entwicklung neuer, günstigerer Sensorik ebnet zukünftig auch den Weg zum Einsatz in der Bauindustrie.



Abbildung 7: Digitaler Zwilling. Beispielhafte Darstellung eines texturierten Modells einer Brücke.

Die wichtigsten Vorteile

- Kostensparnis durch gezielte Planung von Wartungsarbeiten und Reduzierung unnötiger Inspektionen
- Minimierung von Ausfallzeiten durch Überwachung und Planung
- Mehr Sicherheit durch Austausch von kritischen Bauteilen, bevor sie versagen
- Längere Lebensdauer durch kontinuierliche Überwachung und präventive Wartung
- Verbesserte Datenanalyse, um für die weitere Planung zu lernen

Risiken managen, Kosten kontrollieren

«Implenia bietet ehrgeizige Komplettlösungen für eine zeitgemäße Bauwerkserhaltung.»

Mit Blick auf den Zustand von Ingenieurbauwerken, vor allem von Brücken in deutschen Kommunen, ist es jetzt Zeit zu handeln. Diese Meinung teilen die für diese Analyse befragten Kommunen überwiegend.

Um den Ausfall von Brücken, Straßensperrungen sowie hohe Investitionskosten und Haftungsrisiken zu vermeiden, sind Erhaltungskonzepte auf Grundlage innovativer Technologien notwendig. Mit Hilfe moderner Sensorik, digitaler Zwillinge und vorausschauender Erhaltung („Predictive Maintenance“) können Kommunen die Situation fest im Griff behalten. Entwicklung und Einsatz solcher Technologien sind für Implenia ein zentrales Thema. Dank ausgewiesener Spezialistinnen und Spezialisten sowie langjähriger

Erfahrung ist Implenia in der Lage, für die Auftraggeberinnen oder Auftraggeber ein Bauwerk über dessen gesamten Lebenszyklus hinweg zu begleiten. In ständiger Balance zwischen wirtschaftlichem Erfolg sowie sozialer und ökologischer Verantwortung entwickeln und bauen wir Gebäude, Straßen, Brücken und Tunnel für das künftige Wohnen, Arbeiten und Reisen der Menschen. Built to Build – das ist unser Motto. Nachhaltigkeit ist ein integraler Bestandteil von allem, was Implenia tut. Denn nur als nachhaltiges Unternehmen in Hinsicht auf Umwelt, Gesellschaft und Wirtschaft sind wir auch zukunfts-fähig. Das gilt für uns wie für Sie. Und für Ihre Brücken.



Literaturverzeichnis

- Agdas, Duzgun; Rice, Jennifer A.; Martinez, Justin R., Lasa, Ivan R. (2015): Comparison of Visual Inspection and Structural-Health Monitoring As Bridge Condition Assessment Methods. In Journal of Performance of Constructred Facilities 30 (3). DOI: 10.1061/(asce)cf.1943-5509.0000802.
- Balogun, Teslim B.; Tomor, Adrienn; Lamond, Jessica; Gouda, Hazem; Booth, Colin A. (2020): Life-cycle assessment environmental sustainability in bridge design and maintenance. In Engineering Sustainability 173 (7), S. 365–375. DOI: <https://doi.org/10.1680/jensu.19.00042>.
- Bertelsmann Stiftung (2022): SDG-Portal, <https://sdg-portal.de/de/> (abgerufen am 13.10.2023).
- Bundesanstalt für Strassenwesen (2023a): Brückenstatistik, <https://www.bast.de/DE/Statistik/Bruecken/Brueckenstatistik.html> (abgerufen am 13.10.2023).
- Bundesanstalt für Strassenwesen (2023b): Erfahrungssammlung Monitoring für Brückenbauwerke, https://www.bast.de/DE/Publikationen/Fachveroeffentlichungen/Ingenieurbau/Downloads/Erfahrung_Bruecken.html?nn=1816082 (abgerufen am 13.10.2023).
- Bundesingenieurkammer e. V. (2021): Rechtslage und Massnahmen. In Deutsches Ingenieurblatt 3, 2021, <https://www.ingenieurbau-online.de/deutsches-ingenieurblatt/archiv/fachartikeldetail/rechtslage-und-massnahmen> (abgerufen am 13.10.2023).
- Bundesministerium für Digitales und Verkehr (2020): Zustandsnoten, <https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Artikel/StB/zustandsnoten.htm> (abgerufen am 13.10.2023).
- Bundesministerium für Digitales und Verkehr (2022): Zukunftspaket leistungsfähige Autobahnbrücken, 10.03.2022, https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Anlage/K/presse/zukunftspaket-leistungsfähige-autobahnbruecken.pdf?__blob=publicationFile (abgerufen am 13.10.2023).
- Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen: Gigabit-Grundbuch, https://gigabitgrundbuch.bund.de/GIGA/DE/_Home/start.html (abgerufen am 13.10.2023).
- Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein e. V. (2018): Merkblatt Brückenmonitoring – Planung, Aus schreibung und Umsetzung. Berlin, 2018.
- Empelmann, Martin (2008): Infrastrukturbauwerke - Eine Ingenieuraufgabe der Zukunft, http://ftp.sofistik.de/pub/infoline/sofistik-seminar/2008/v01_empelmann.pdf (abgerufen am 13.10.2023).
- Frangopol, Dan M.; Lin, Kai-Yung; Estes, Allen C. (1997): Life-Cycle Cost Design of Deteriorating Structures. In Journal of Structural Engineering 123 (10). DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(1997\)123:10\(1390\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(1997)123:10(1390)).
- Ghodoosi, Farzad; Abu-Samra, Soliman; Zeynalian, Mehran; Zayed, Tarek (2017): Maintenance Cost Optimization for Bridge Structures Using System Reliability Analysis and Genetic Algorithms. In Journal of the Construction Division and Management 144 (2). DOI: 10.1061/(asce)co.1943-7862.0001435.
- Goldbeck, Christoph; Linder, Carsten (2023): Zeitbombe Brücken – mit Vollgas ins Unglück? In SWR Wissen, 06.02.2023, <https://www.swr.de/wissen/zeitbombe-bruecken-102.html> (abgerufen am 13.10.2023).
- Jensen, Jens Sandager (2019): Innovative and sustainable operation and maintenance of bridges. In Structure and Infrastructure Engineering 16 (1), S. 72–83. DOI: 10.1080/15732479.2019.1604772.
- Kot, Patryk; Hashim, Khalid S.; Muradov, Maged; Al-Khaddar, Rafid (2021): How can sensors be used for sustainability improvement? In Methods in Sustainability Science, S. 321–344. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823987-2.00011-8>.
- Liu, Yinshan; Pang, Bo; Wang, Yuanfeng; Shi, Chengcheng; Zhang, Bogun; Guo, Xiaohui; Zhou, Shuowen; Wang, Jingjing (2022): Life-cycle maintenance strategy of bridges considering reliability, environment, cost and failure probability CO₂ emission reduction: A bridge study with climate scenarios. In Journal of Cleaner Production 379 (1). DOI: 10.1016/j.jclepro.2022.134740
- Schrüfer, Martin (2022): Deutschland steht vor Brücken kollaps. In Baugewerbe Magazin, 14.01.2022, <https://www.baugewerbe-magazin.de/personen/dramatische-lage-tim-oliver-mueller---deutschland-steht-vor-brueckenkollaps-.htm> (abgerufen am 13.10.2023).
- Schumann, Florian; Funk, Albert (2018): Brücken in Deutschland: Die Angst vor dem Fall, 15.08.2018, <https://www.tagesspiegel.de/politik/die-angst-vor-dem-fall-5296369.html> (abgerufen am 13.10.2023).
- Soga, Kenichi; Schooling, Jennifer (2016): Infrastructure sensing. In Interface Focus 6 (4). DOI: 10.1098/rsfs.2016.0023.
- Toth, Teresa; Rogalla, Lukas; Büßow, Vincent (2021): Das ist wirklich eine Katastrophe. In Frankfurter Neue Presse, 23.06.2021, <https://www.fnp.de/lokales/wiesbaden/wiesbaden-salzbachtalbruecke-wegen-gefahrsituationsgesperrt-zr-90810918.html> (abgerufen am 13.10.2023).
- Watanabe, Eiichi; Furuta, Hitoshi; Yamaguchi, Takashi; Kano, Masato (2013): On Longevity and Monitoring Technologies of bridges; A survey study by the Japanese Society of Steel Construction. In Structure and Infrastructure Engineering 10 (4), S. 471–491. DOI: 10.1080/15732479.2013.769008.
- Zajonz, David (2023): Drei, zwei, eins – Zündung! In tagesschau, 07.05.2023, <https://www.tagesschau.de/inland/gesellschaft/sprengung-rahmedebruecke-100.html> (abgerufen am 13.10.2023).

Autorschaft und Arbeitsmethode

Initiiert wurde diese Analyse vom führenden, international tätigen Schweizer Bau- und Immobiliendienstleister Implenia. Die Gruppe entwickelt, realisiert und bewirtschaftet Lebensräume, Arbeitswelten und Infrastruktur für künftige Generationen in der Schweiz und in Deutschland. Zudem bietet Implenia in weiteren Märkten Tunnelbau- und damit verbundene Infrastrukturprojekte an. Entstanden 2006, blickt Implenia auf eine rund 150-jährige Bautradition zurück. Mit ihrem breiten Angebotsspektrum sowie der Expertise ihrer Spezialisten und Spezialistinnen realisiert die Gruppe grosse, komplexe Projekte und begleitet Kunden über den gesamten Lebenszyklus ihrer Bauwerke. Dabei stehen die Bedürfnisse der Kunden und ein nachhaltiges Gleichgewicht zwischen wirtschaftlichem Erfolg sowie sozialer und ökologischer Verantwortung im Fokus. Implenia mit Hauptsitz in Opfikon bei Zürich beschäftigt europaweit mehr als 9.000 Mitarbeitende und erzielte im Jahr 2022 einen Umsatz von CHF 3,6 Mrd.

Die zugrunde liegende Forschung, die Erstellung und Redaktion der vorliegenden Analyse erfolgten im Auftrag von Implenia durch die Strategieberatung MODULDREI aus Dortmund in Zusammenarbeit mit Expertinnen und Experten von Implenia.

Ihr Ansprechpartner



Patrick Roth
Projektleiter Implenia Bauwerkserhaltung
DE +49 173 474 0808 | CH +41 76 234 69 07
patrick.roth@implenia.com

Implenia Schweiz AG
Division Civil Engineering
Thurgauerstrasse 101A
8152 Opfikon (Glattpark)

Bauwerkserhaltung
implenia.com/bauwerkserhaltung

